

1. МАГНЕТНА КОЛА-УВОДНЕ ВЕЖБЕ

1.1 ТЕОРИЈСКИ ДЕО

Основни закони који се користе при решавању магнетних кола су следећи:

Закон о одржању магнетног флукса:

Магнетни флукс вектора магнетне индукције \vec{B} , кроз сваку затворену површину S , увек је једнак нули:

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0.$$

Амперов закон:

Циркулација вектора јачине магнетног поља \vec{H} дуж затворене контуре једнака је производу броја навојака N и струје I која кроз њих протиче,

$$\oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = N \cdot I.$$

Фарадејев закон електромагнетне индукције:

Величина електромоторне силе, индукована у затвореној контури, директно је пропорционална промени флукса кроз контуру,

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Минус у последњем изразу је последица **Ленцовог правила** које гласи: Смер струје, која се индукује у некој затвореној контури је увек такав да својим пољем, тежи да спречи промену флукса кроз контуру.

Кап-Хопкинсонов закон:

Овај закон, који се назива још и Омовим законом за магнетна кола, служи за приближно одређивање флукса магнетног поља који протиче кроз просто магнетно коло.

Математички се Кап-Хопкинсонов закон може изразити формулом:

$$\Phi = \frac{F}{\Theta}$$

где је: F - магнетна побудна сила, а $\Theta = \frac{1}{\mu} \frac{l}{S}$ - магнетна отпорност простог магнетног кола константне магнетне пермеабилности μ , дужине кола l и попречног пресека S .

Дефиниција магнетног кола:

Системи у којима је магнетни флукс скоро у потпуности каналсан феромагнетним језгром (слично као што је електрична струја каналсана проводницима у електричном колу) се називају магнетна кола.

Феромагнетни материјали од којих се праве магнетна кола су материјали са јако израженом способношћу магнетнења (при релативно малим јачинама магнетизационог поља се могу остварити релативно велике вредности магнетне индукције). Остале особине феромагнетних

материјала су: појава реманентног магнетизма, нелинеарност и вишезначност карактеристике магнетне, што значи да се феромагнетни материјали не могу охарактерисати једном одређеном вредношћу пермеабилности μ дефинисане односом $\mu = \frac{B}{H}$.

Ако се у циљу упрошћавања усвоји да је магнетна пермеабилност материјала употребљених за магнетно коло константна, такво магнетно коло се назива линеарно. Ако ови материјали не испуњавају усвојену претпоставку, такво магнетно коло се назива нелинеарно.

1.2 СИМУЛАЦИОНЕ ВЕЖБЕ

Пре израде лабораторијских вежби студенти треба да одраде следеће симулационе вежбе написане у програм LabVIEW.

1.2.1 ПРОСТО МАГНЕТНО КОЛО

Програм ВИ *prostoMK.vi* служи за прорачун јачине струје у навоју магнетног кола на основу димензија магнетног кола са ваздушним процепом и задате магнетне индукције у процепу.

Подаци које корисник инструмента уноси и мења преко *numeric control* –а су:

1. Димензије магнетног кола,
2. Релативна магнетна пермеабилност,
3. Јачина магнетне индукције у ваздушном процепу,
4. Број навоја побуде.

Уз услове који се уносе преко *checkbox* –а :

- узимање ивичног ефекта у обзир,
- одабир смера побуде.

Поред шеме магнетног кола са свим означеним димензијама налази се и еквивалентна шема кола на којој су означене вредности: магнетопобудне силе, релуктанси и смер магнетног флукса.

Излазни подаци који се читавају преко *numeric indicator* –а су:

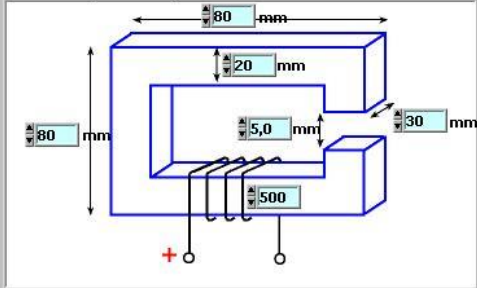
1. Попречни пресек магнетног кола и ваздушног процепа,
2. Средња дужина маг. кола,
3. Магнетни флукс,
4. Магнетна индукција у процепу и магнетном колу,
5. Јачина електричне струје у побудном навоју,
6. Релуктансе магнетног кола и ваздушног процепа.

Задатак вежбе је да студенти уоче зависности између улазних параметара. (димензија магнетног кола, релативне магнетне пермеабилности, задате вредности магнетне индукције у међугвожђу као и броја навојака побуде) и излазног параметра – потребне јачине струје у побудном навоју да би се остварила задата вредност магнетне индукције.

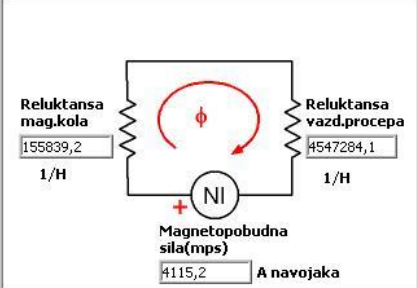
На слици 1.1 приказан је предњи панел инструмента:

PROSTO MAGNETNO KOLO

Za magnetno kolo prikazano na slici : postaviti parametre kola da bi se za zadatu vrednost mag. indukcije u vaz.procepu odredila jacina el.struje u naviju



Ekvivalentno magnetno kolo



Reluktansa mag.kola: 155839,2 (1/H)
Reluktansa vazd.procepa: 4547284,1 (1/H)
Magnetopobudna sila(mps): 4115,2 (A navojaka)

Ostali podaci

Relativna mag.permeabilnost vakuuma: 4×10^{-7} H/m

Promena smeru pobude

Uzimati ivicni efekat u obzir

Magnetna indukcija u vaz.procepu (T): 1,00

Relativna permeabilnost mag.kola: 2000

Jacina el.struje	8,230	A
Poprecni presek mag.kola	0,00060	m2
Poprecni presek vazd.procepa	0,000875	m2
Srednja duzina mag.kola	0,235	m
Magnetna permeabilnost kola	0,0025	H/m
Mag.fluks u vaz.procepu	0,000875	Wb
Mag.fluks u mag.kolu	0,000875	Wb
Mag. indukcija u vaz.procepu	1,000	T
Mag. indukcija u mag.kolu	1,458	T

Слика 1.1: [Предњи панел програма *prostoMK.vi*](#)

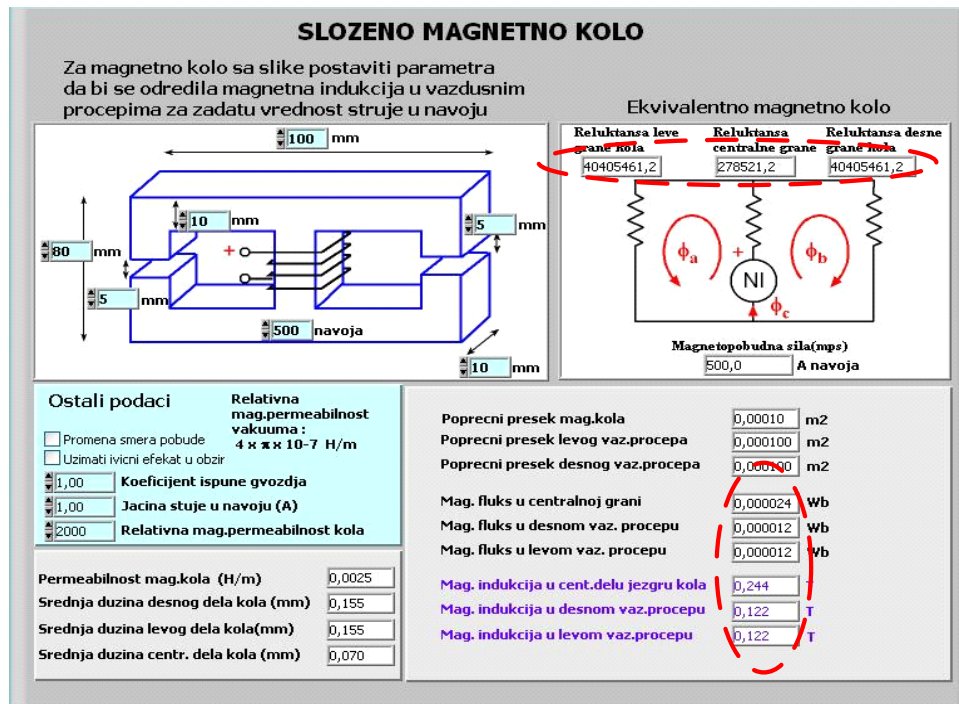
1.2.2 СЛОЖЕНО МАГНЕТНО КОЛО

Програм ВИ *slozenoMK.vi* прорачунава магнетни флуks и магнетну индукцију у ваздушним процепима. Поред класичног прорачуна приказује промене излазних параметара кола на основу промене улазних параметара.

Корисник као почетне податке уноси:

1. Димензије магнетног кола (дужину, ширину, висину и дужину ваздушног процепа),
 2. Број навојака побуде,
 3. Јачину струје у побудном навоју,
 4. Релативну пермеабилност магнетног кола,
- уз одабир:
- узимања ивичног ефекта
 - смера побуде.

На слици 1.2 приказан је предњи панел инструмента:



Слика 1.2: Предњи панел програма *slozenoMK.vi*

Димензије магнетног кола уносе се преко *numeric control* –а. Унете димензије су у милиметрима. Преко истих контрола уносе се и релативна пермеабилност, број навоја побуде и јачина ел. струје у навоју.

Узимање ивичног ефекта и смера поларитета одабира се преко *checkbox* –а. Поред слике магнетног кола са основним димензионим подацима налази се слика еквивалентног магнетног кола. На еквивалентној шеми означени су смерови магнетних флуксева који постоје у магнетном колу и исписане су вредности релуктанси грана кола. Релуктансе леве и десне стране кола које су приказане на слици обухватају релуктансу ваздушног процепа и релуктансу дела магнетног кола те гране.

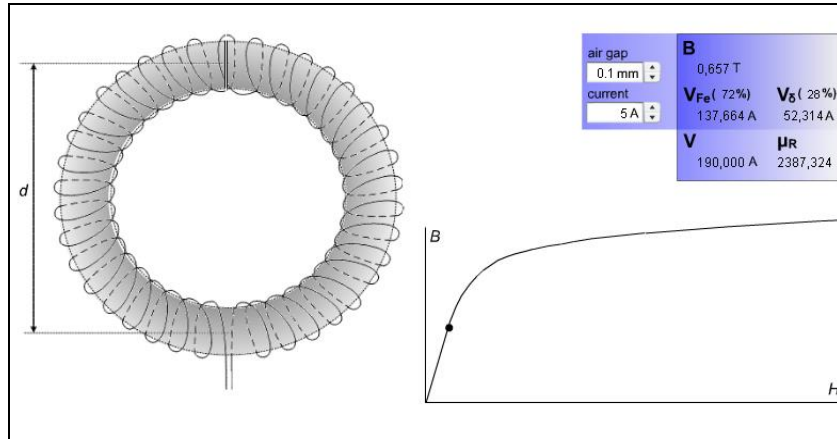
Подаци које инструмент даје се исписују преко одговарајућих *numeric indicator* –а, су:

1. Површина попречног пресека оба ваздушна процепа и магнетног кола,
2. Магнетне флуксева у све три гране кола,
3. Магнетне индукције у оба ваздушна процепа и централној грани кола,
4. Пермеабилности магнетног кола,
5. Средње дужине појединих делова кола.

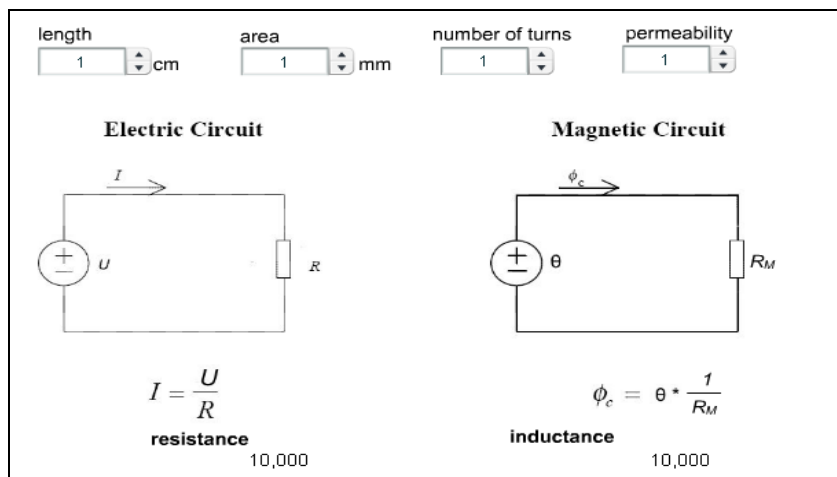
1.2.3 АПЛЕТИ КОЈИ СЕ ОДНОСЕ НА МАГНЕТНА КОЛА

Задатак вежбе:

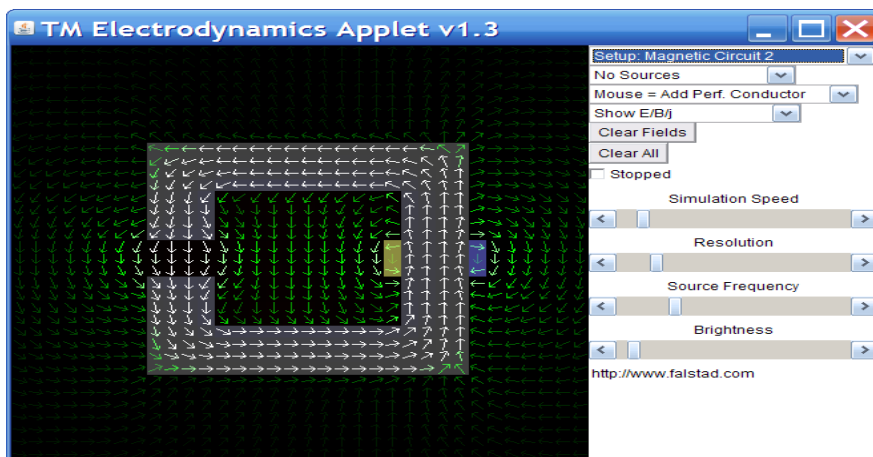
Стартовати и анализирати наведене аплете.



Слика 1.3: Аплет - [Nelinearno magnetno kolo sa vazдушnim procepom.swf](#)



Слика 1.4: Аплет - [Analogija magnetnih i električnih kola.swf](#)



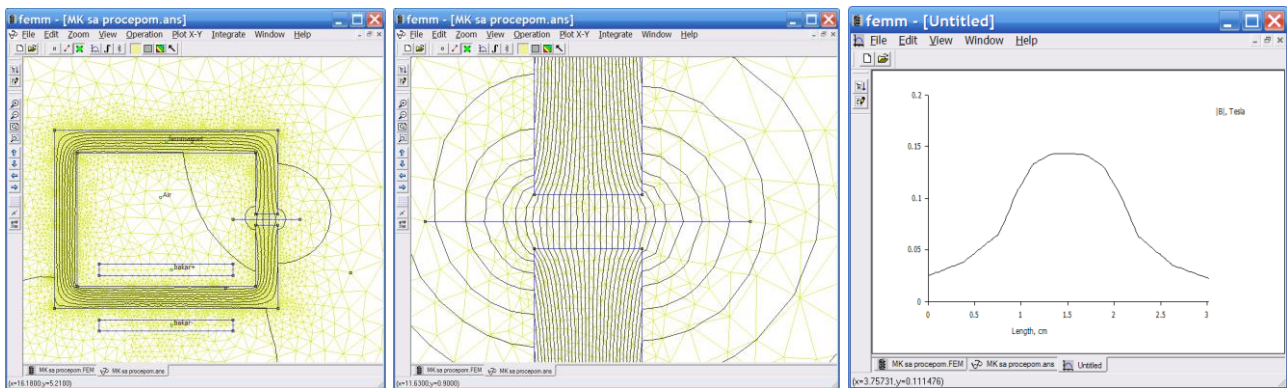
Слика 1.5: Аплет - [MK primer magnetnic circuit2.htm](#)

1.2.4 РЕШАВАЊЕ МАГНЕТНИХ КОЛА МЕТОДОМ КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА

Задатак вежбе:

Коришћењем програма FEMM и приложених програма, анализирати расподелу магнетног поља у попречном пресеку простог и сложеног магнетног кола. Вредности магнетне индукције и магнетног поља у феромагнетним деловима и у ваздушном процепу. Учити разлику у вредностима магнетног поља на различитим местима попречног пресека. Програм се може преузети и инсталирати преко следећег [линкa](#).

1.2.4.1 Пример решеног простог магнетног кола са ваздушним процепом



Слика 1.6: [МК са процепом.FEM](#)

Задато је магнетно коло квадратног попречног пресека S са ваздушним процепом ширине 5 mm . Једна страна овог кола носи проводан навој, кроз који протиче једносмерна струја I . Цело магнетно коло је израђено од материјала чија је магнетна пермеабилност μ и која не зависи од јачине магнетне индукције B . Занемарују се магнетно расипање и ивични ефекат. Израчунати: H , B , Φ , ψ , L .

Подаци:

$$\begin{aligned} a &= 100\text{ mm} & b &= 80\text{ mm} & c &= 20\text{ mm}, \\ a' &= 80\text{ mm} & b' &= 60\text{ mm} & l_0 &= 5\text{ mm} \\ a'' &= 10\text{ mm} & b'' &= 10\text{ mm} \\ I &= 0,4\text{ A}, & N &= 1800\text{ навојака}, & \mu &= 500\mu_0. \end{aligned}$$

Решење:

$$\oint_c \vec{H} d\vec{l} = NI \quad H_{Fe} l_{Fe} + H_0 l_0 = NI \quad \frac{B_{Fe}}{\mu} l_{Fe} + \frac{B_0}{\mu_0} l_0 = NI, \quad \text{за } B_{Fe} = B_0 \text{ и } \mu = 500\mu_0 \Rightarrow$$

$$\frac{B_0}{500\mu_0} l_{Fe} + \frac{B_0}{\mu_0} l_0 = NI \Rightarrow$$

$$B_0 = \frac{\mu_0 NI}{\frac{l_{Fe}}{500} + l_0} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1800 \cdot 0,4}{\frac{0,315}{500} + 0,005} = 0,16062[\text{T}] = 160,62[\text{mT}]$$

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{0,16062}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 127882,16 \left[\frac{\text{A}}{\text{m}} \right]$$

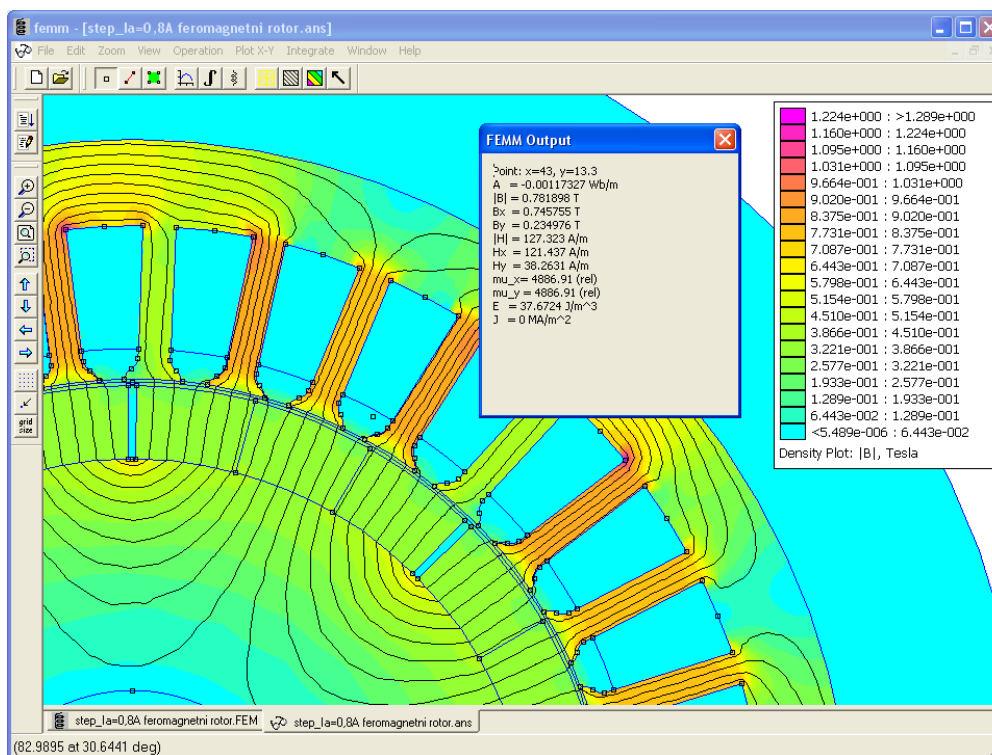
$$H_{\text{Fe}} = \frac{NI - H_0 l_0}{l_{\text{Fe}}} = \frac{1800 \cdot 0,4 - 127882,16 \cdot 0,005}{0,315} = 255,83 \left[\frac{\text{A}}{\text{m}} \right]$$

$$\Phi = B_{\text{Fe}} S_{\text{Fe}} = B_0 S_{\text{Fe}} = 0,16062 \cdot (10 \cdot 20 \cdot 10^{-6}) = 32,124 [\mu\text{Wb}]$$

$$\Psi = N\Phi = 1800 \cdot 32,124 \cdot 10^{-6} = 57,8232 [\text{mWb}]$$

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{57,8232 \cdot 10^{-3}}{0,4} = 0,1445 [\text{H}]$$

1.2.4.2 Пример решеног магнетног кола корачног мотора са перманентно магнетним ротором



Слика 1.7: step Ia=0,8A feromagnetni rotor.FEM

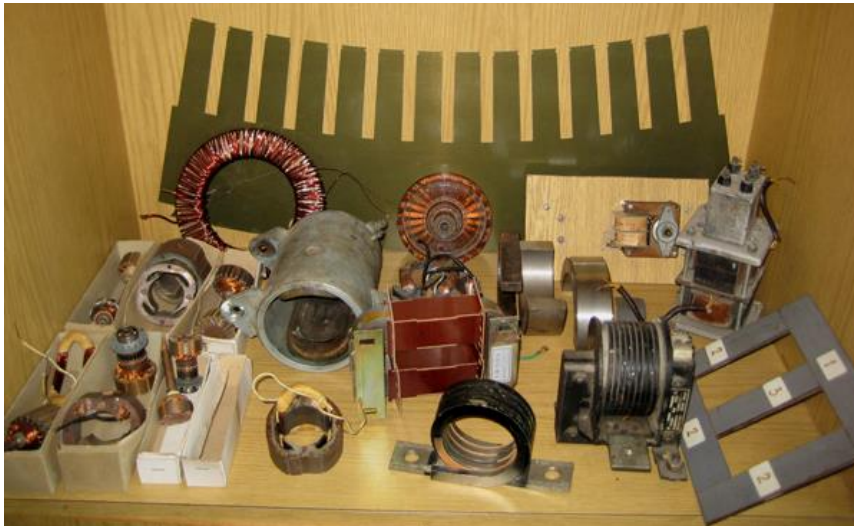
Остали примери су зиповани и могу се преузете преко следећег [линка](#)

ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ВЕЖБЕ

1.3.1 УПОЗНАВАЊЕ СА ДЕЛОВИМА МАГНЕТНИХ КОЛА

Задатак вежбе:

1. Уочити електричне и магнетне делове кола,
2. Помоћу кљунастог мерила и метра измерити димензије динамо лимова,
3. Проценити јачине струја и бројеве навојака у навојима магнетних кола и на основу тих параметара проценити вредност одговарајућих магнетопобудних сила,
4. Уочити начине слагања лимова при формирању магнетног кола,
5. Уочити различите облике магнетних кола и разјаснити разлог њихове различите конструкције,
6. Уочити разлику између магнетних кола побуђена једносмерном и наизменичном струјом.



Слика 1.9: Делови магнетних кола

Спецификација опреме и прибора за вежбу:

- кљунасто мерило;
- тракасти челични метар



Слика 1.10: Опрема за вежбу

1.3.2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРА ФИЗИЧКИХ ЗАКОНА КОЈИ СЕ КОРИСТЕ ПРИ РЕШАВАЊУ МАГНЕТНОГ КОЛА

Оглед 1

Задатак:

Уочити расподелу линија магнетног поља помоћу папира за детектовање линија магнетног поља за различите типове магнета и магнетних кола. Уочити шта се дешава са линијама магнетног поља приближавањем и удаљавањем папира за детектовање.

Групу сталних магнета укосити и низ њих спуштати три врсте материјала умотаних у папирни омотач. Уочити разлике у брзини кретања сваког од њих и на основу тога закључити о каквим материјалнима се ради. Који физички закон се са овим огледом потврђује?



Слика 1.11: Опрема за вежбу

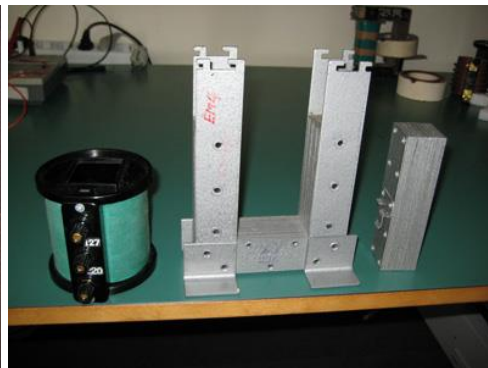
Оглед 2

Задатак:

Мерити струју магнећења за различите типове магнетних кола (калем без феромагнетног језгра, калем у отвореном магнетном колу, калем у затвореним магнетном колу) и то при напонима 20V, 50V, 100V, 150V. Резултате унети у табелу и анализирати зависност струје магнећења од типа магнетног кола.

Спецификација опреме и прибора:

- Монофазни аутотрансформатор
- Универзални мерни инструмент (амперметар)
- Магнетна кола



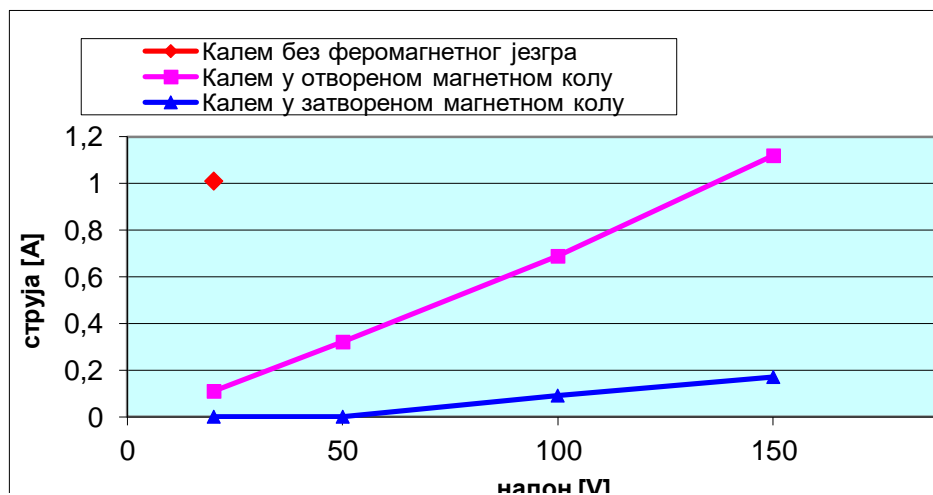
Слика 1.12: Опрема за вежбу

Поступак извођења огледа:

1. прикључити калем на наизменични напон помоћу аутотрансформатора и за задате напонске нивое пратити струју магнећења (водити рачуна да превисоки напон не изазове оштећење калема).
2. исти поступак поновити за остала два случаја.

Резултати мерења:

U [V]	Струја магнећења I [A]		
	Калем без феромагнетног језгра	Калем у отвореном магнетном колу	Калем у затвореном магнетном колу
20	1,01	0,11	0
50	/	0,32	0
100	/	0,69	0,09
150	/	1,12	0,17



Оглед 3

Задатак:

Посматрати зависност струје магнећења магнетног кола од ширине међугвожђа за следеће напоне 20 V , 40 V , 60 V .

Резултате мерења приказати таблично и анализирати их.

Спецификација опреме и прибора:

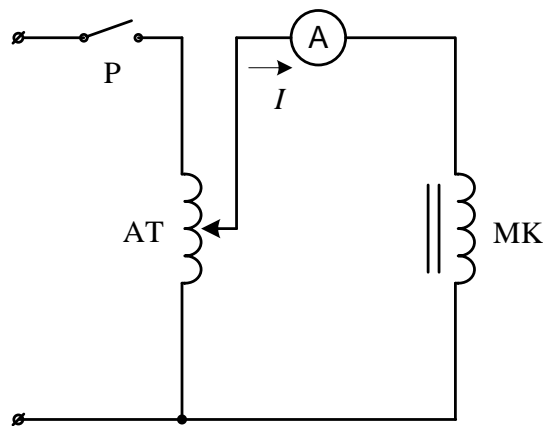
- Монофазни аутотрансформатор
- Универзални мерни инструмент (амперметар)
- Магнетно коло

1. ЛАБОРАТОРИЈСКА ВЕЖБА ЕЛЕКТРИЧНЕ МАШИНЕ 1



Слика 1.13: Опрема за вежбу

Електрична шема:



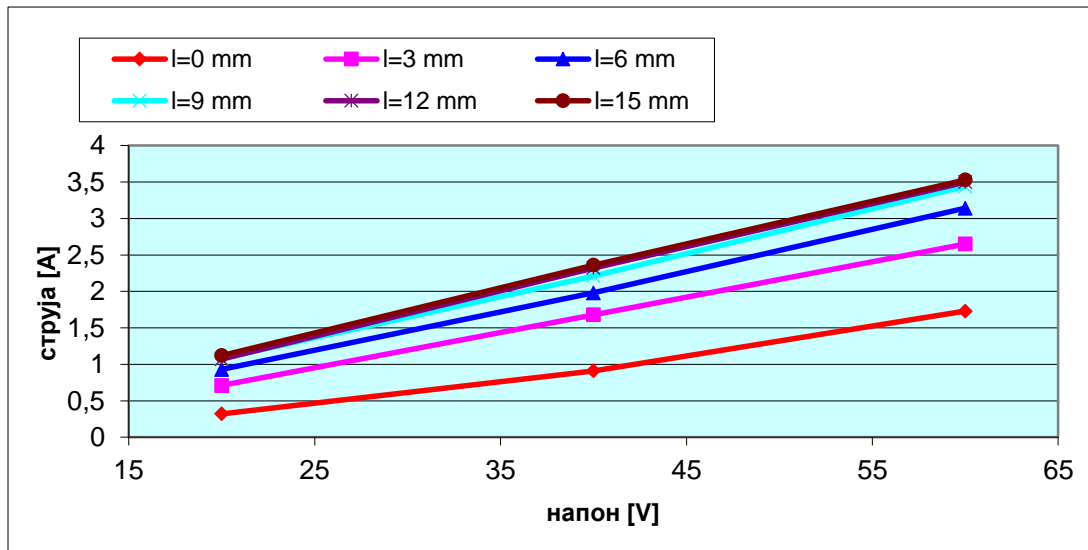
Слика 1.14: Електрична шема

Поступак извођења огледа:

1. повезати елементе електричног кола према шеми
2. за дате напонске нивое мењати ширину међугвожђа и мерити струју магнећења

Резултати мерења:

	Струја магнећења I [A] за различите дужине ваздушног процепа					
U [V]	$l = 0$ mm	$l = 3$ mm	$l = 6$ mm	$l = 9$ mm	$l = 12$ mm	$l = 15$ mm
20	0,32	0,71	0,93	1,08	1,07	1,12
40	0,91	1,68	1,98	2,21	2,32	2,36
60	1,73	2,65	3,14	3,44	3,5	3,53



Оглед 4

Задатак:

- Посматрати индуковану електромоторну силу на једном излазном намотају, при напону од 150 V, када се тај намотај налази:
 - у магнетном колу
 - када делимично захвата магнетно коло
 - када је ван магнетног кола
- Користећи намотаје са сијалицом, при напону од 100 V, уочити промене интезитета осветљаја сијалице, за различите положаје тог намотаја.

Шта се дешава са интезитетом осветљаја сијалице, када се магнетно коло потпуно затвори (водити рачуна о вредности напона како не би дошло до прегоривања сијалице)?
- За исти прикључни напон (100 V), уочити шта се дешава са индукованом електромоторном силом када се мења (додаје) број намотаја на излазу.

Шта се дешава са индукованом емс када се коло у потпуности затвори?
 Резултате приказати таблично и анализирати их.

Спецификација опреме и прибора:

- Монофазни аутотрансформатор
- Амперметар
- Волтметар
- Магнетна кола



Слика 1.15: Опрема за вежбу

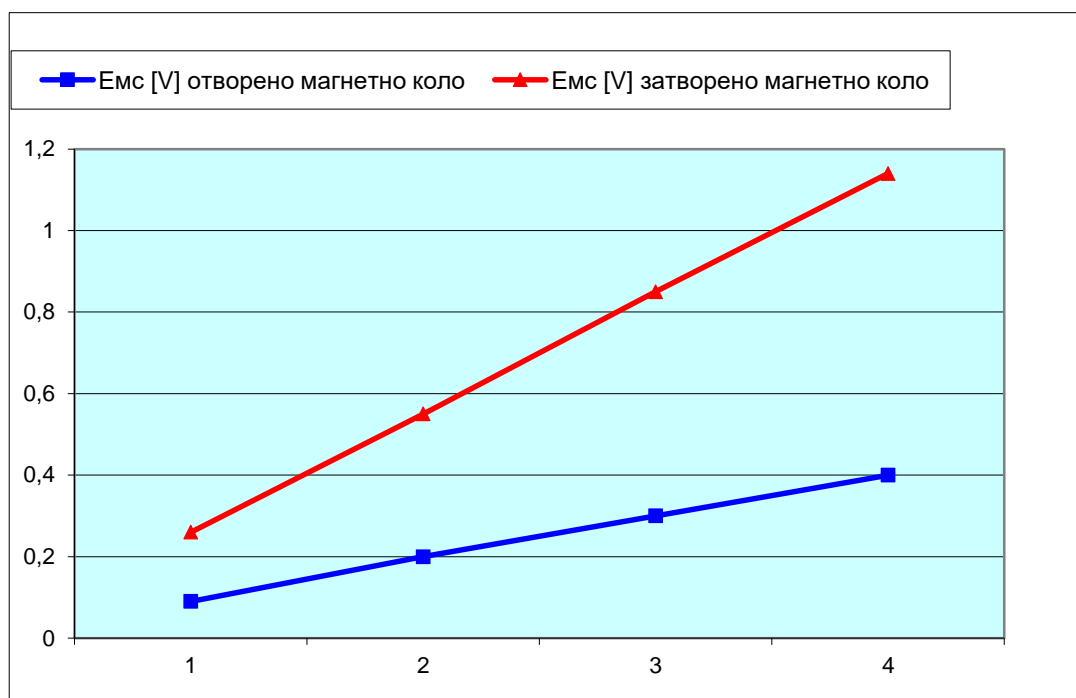
Резултати мерења:

Када је магнетно коло отворено:

Број навојака	1	3	5	7
Емс [V]	0,09	0,2	0,3	0,4

Када је магнетно коло затворено:

Број навојака	1	3	5	7
Емс [V]	0,17	0,35	0,55	0,74



Може се уочити линеарна зависност повећања индуковане електромоторне силе од укупног броја навојака.